

***Н. В. Лебедева, Ю. М. Маркова, Д. Л. Смирнова***

«Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов  
«Прометей» имени И. В. Горынина национального исследовательского центра  
«Курчатовский институт», г. Санкт-Петербург  
*mail@crism.ru*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАГРЕВА НА ПАРАМЕТРЫ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ОХЛАЖДЕНИИ В ШТАМПОВОЙ СТАЛИ

В работе исследовалась сталь марки 56NiCrMoV7. Проведены исследования кинетики фазовых превращений при непрерывном охлаждении, определены условия их протекания, проведено исследование микроструктуры. По результатам исследований проведено сравнение параметров микроструктуры и кинетики фазовых превращений при построении термокинетических диаграмм (ТКД) с разных температур предварительного нагрева.

*Ключевые слова:* диффузионное превращение, дилатометрия, термокинетическая диаграмма, фазовые превращения, штамповая сталь.

***N. V. Lebedeva, Ju. M. Markova, D. L. Smirnova***

## INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF TEMPERATURE OF PRELIMINARY HEATING ON THE PARAMETERS OF PHASE TRANSFORMATIONS UNDER CONTINUOUS COOLING IN THE STAMP STEEL

The steel grade 56NiCrMoV7 was investigated. Investigations of the kinetics of phase transformations under continuous cooling have been carried out, the conditions for their occurrence have been determined, and the microstructure has been studied. Based on the results of the research, the parameters of the microstructure and the kinetics of the phase transformations were compared with the construction of thermokinetic diagrams (TCD) from different preheating.

*Keywords:* phase transformation, dilatometry, stamp steel, diffusion transformation, thermokinetic diagrams.

В данной работе рассмотрена штамповая сталь марки 56NiCrMoV7, применяемая для крупногабаритных изделий, в частности матриц и инструмента для протяжки прутков и труб [1].

Известно, что необходимость разработки новых режимов термической обработки приводит к необходимости исследования кинетики

фазовых превращений на разных этапах термического воздействия, в том числе с помощью проведения моделирования [2].

Устойчивость переохлажденного аустенита изучалась при непрерывном охлаждении на дилатометре Dil805. Исследования проводились на образцах стали Ø5x10 мм, которые нагревались со скоростью 10 °С/с, температуры фазовых переходов определялись в соответствии с методикой, описанной в [3]. Для исследования фазовых структурных превращений, происходящих в материале после закалки нагрев проводился до температуры 860 °С, для моделирования превращения аустенита в процессе охлаждения с температурковки – до 1200 °С, после выдержки образцы охлаждались с различными скоростями. Микроструктурные исследования с оценкой среднего размера зерна проводились на инвертированном металлографическом микроскопе AxioObserverA1m. Рентгеноспектральный микроанализ (РСМА) проводился на растровом микроскопе Tescan Vega с энергодисперсионной приставкой Inca.

Для исследуемой стали построены ТКД с разными температурами предварительного нагрева – 860 °С и 1200 °С, области фазовых превращений были наложены друг на друга для проведения сравнительного анализа (рис. 1). Из полученных ТКД видно, что в зависимости от условий охлаждения аустенита в исследуемом материале можно получить ферито – перлитное, бейнитное, а также мартенситное превращения.

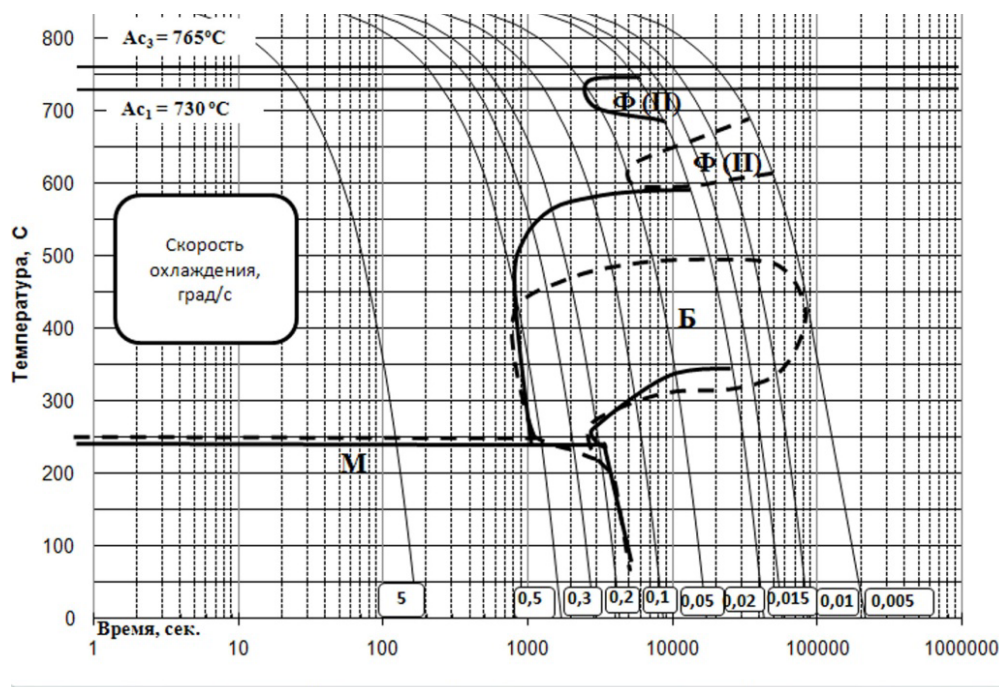


Рис.1. ТКД стали 56NiCrMoV7: с температуры 1200 °С (сплошная линия), с температуры 860°С (пунктирная линия)

Сравнение термокинетических диаграмм (рис. 1) показало, что с понижением температуры предварительного нагрева:

- температурный интервал бейнитного превращения смещается в область более низких температур (температура начала бейнитного превращения снижается с  $\sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $\sim 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

- температурный интервал феррито-перлитного превращения смещается в область более медленных скоростей, а также пик минимальной устойчивости аустенита снижается с  $730\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $620\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

- область мартенситного превращения значительных изменений не претерпевает.

Для подтверждения и уточнения результатов дилатометрических исследований проведены микроструктурные исследования (рис. 2–3). При охлаждении с температуры  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$  со скоростью  $5\text{ град/сек}$  наблюдается структура мартенсита, со скоростью  $0,5 \div 0,1\text{ град/сек}$  – структура бейнито-мартенситного типа, а при скоростях  $0,05 \div 0,02\text{ град/сек}$  по границам бывших аустенитных зерен наблюдаются выделения ферритных зерен. При этом следует отметить, что с уменьшением скорости охлаждения количество верхнего бейнита увеличивается. Средний размер бывшего аустенитного зерна для всех исследованных образцов соответствует –1 баллу по ГОСТ 5639 [4].

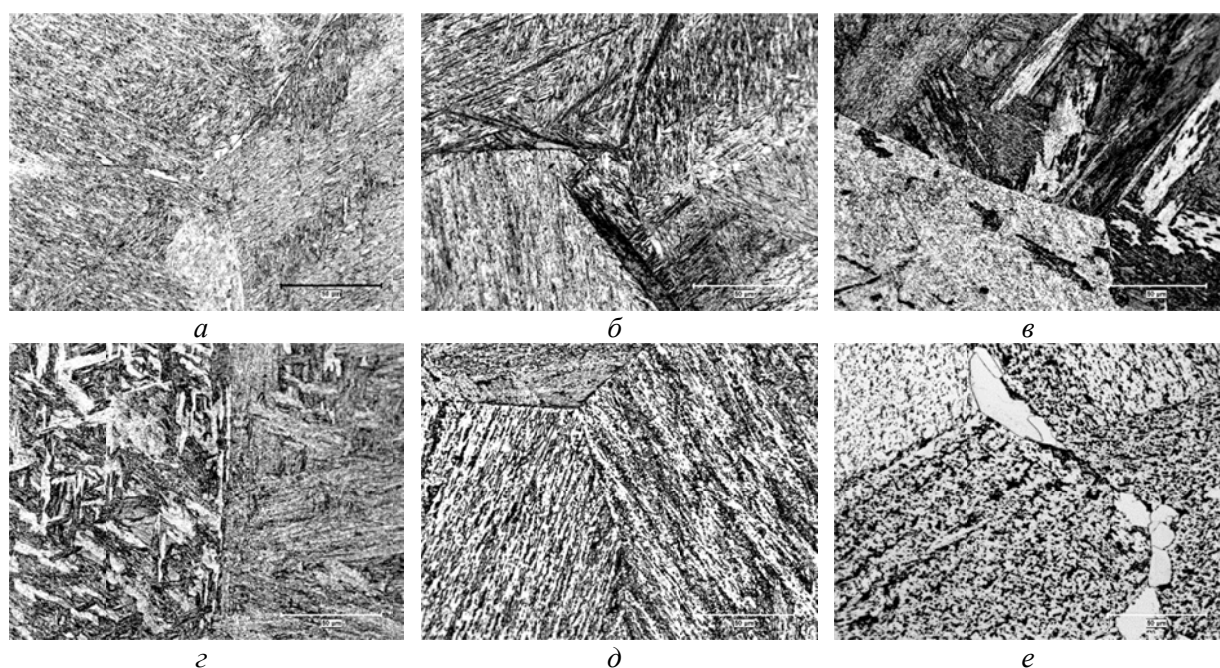


Рис. 2. Изображения микроструктуры после непрерывного охлаждения с различными скоростями с температуры  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\times 500$ : *а* –  $5\text{ град/сек}$ , *б* –  $0,5\text{ град/сек}$ , *в* –  $0,2\text{ град/сек}$ , *г* –  $0,1\text{ град/сек}$ , *д* –  $0,05\text{ град/сек}$ , *е* –  $0,02\text{ град/сек}$

При охлаждении с температуры  $860\text{ }^{\circ}\text{C}$  со скоростью  $5\text{ град/сек}$  наблюдается структура мартенсита, со скоростью  $0,5 \div 0,1\text{ град/сек}$  – структура бейнито-мартенситного типа с преобладанием бейнитной

составляющей, а при скоростях  $0,05 \div 0,005$  град/сек наблюдаются выделения зернистого перлита. Средний размер бывшего аустенитного зерна для всех исследованных образцов соответствует 8 баллу по ГОСТ 5639. Бейнит в исследованных образцах преимущественно игольчатой морфологии.

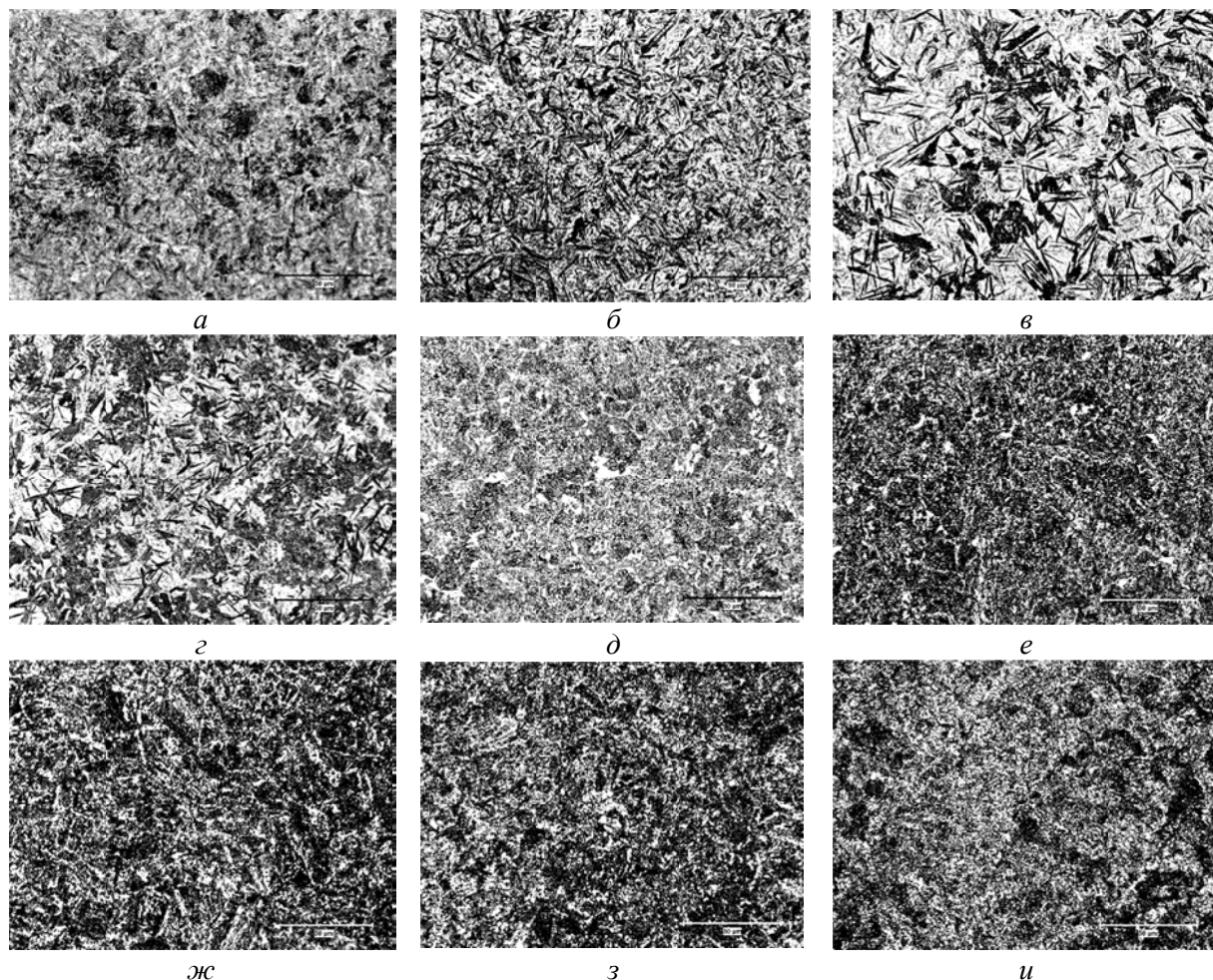
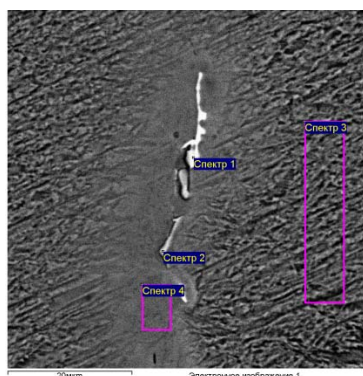


Рис. 3. Изображения микроструктуры после непрерывного охлаждения при различных скоростях с температуры  $860^{\circ}\text{C}$ ,  $\times 500$ : *a* – 5 град/сек, *б* – 0,5 град/сек, *в* – 0,3 град/сек, *г* – 0,2 град/сек, *д* – 0,1 град/сек, *е* – 0,05 град/сек, *ж* – 0,02 град/сек, *з* – 0,015 град/сек, *и* – 0,01 град/сек

При исследовании микроструктуры образца после охлаждения со скоростью 5 град/сек по границам бывших аустенитных зерен были выявлены выделения, для определения их химического состава проведено исследование методом РСМА (рис. 4). Определено, что по границам бывших аустенитных зерен выделяются сложные карбиды на основе Mo, В, Cr, V. При данной скорости охлаждения они полностью не успевают раствориться и диффундировать в тело зерна. Также вблизи карбидов по границам выявлена диффузионная зона, химический состав которой отличается от состава матрицы.



№	C	B	Si	P	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Mo
1	18	17.7	0.14	1.4		3.7	5.3	0.5	30.4	0.3	22.6
2			0.48		1	4.7	3.3	0.8	78.2	1.1	10.4
3			0.38				1.2	0.5	95.8	1.7	0.5
4			0.54			0.5	2.9	1.1	90.1	1.5	3.4

*a*

*б*

Рис. 4. Результаты исследования методом РСМА образца после охлаждения с температуры 1200 °С со скоростью 5 град/сек: *a* – изображение, *б* – химический состав исследованных спектров

## ВЫВОДЫ

1. Проведены дилатометрические исследования и построены термокинетические диаграммы стали 56NiCrMoV7 с разных температур нагрева. При разных скоростях охлаждения были определены интервалы различных фазовых превращений: феррито-перлитного, бейнитного и мартенситного.

2. Сравнение термокинетических диаграмм при непрерывном охлаждении с нагрева 1200 и 860 °С показало смещение интервалов превращений в область более низких температур.

*Экспериментальные исследования выполнены на оборудовании Центра коллективного пользования научным оборудованием «Состав, структура и свойства конструкционных и функциональных материалов» НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей» при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки в рамках соглашения № 14.595.21.0004. Уникальный идентификатор RFMEFI59517X0004.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гольдштейн М. И. Специальные стали: учебник / М. И. Гольдштейн, С. В. Грачев, Ю. Г. Векслер. Москва : МИСИС, 1999. 408 с.
2. Цуканов В. В. Современные стали и технологии в энергомашиностроении / В. В. Цуканов. Санкт-Петербург : Машиностроение, 2014. 461 с.
3. Барахтин Б. К. Металлы и сплавы. Анализ и исследование. Физико-аналитические методы исследования металлов и сплавов. Неметаллические включения. Справочник / Б. К. Барахтин, А. М. Немец. Санкт-Петербург : НПО «Профессионал», 2006. 490 с.
4. ГОСТ 5639–82. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна. 21 с.